

УДК 621.791.92

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154681

Совершенствование ресурсосберегающей технологии наплавки двумя ленточными электродами с управляемым переносом электродного металла

Е. В. Лаврова, В. П. Иванов, В. А. Роянов, И. В. Захарова, В. С. Кибиш

Представлені результати дослідження ресурсозберігаючої технології наплавлення двома стрічковими електродами з контрольованим перенесенням электродного металу з торців стрічкових електродів і з регульованим співвідношенням швидкостей подачі стрічкових електродів. Для реалізації запропонованої технології наплавлення, розроблено пристрій, що дозволяє змінювати співвідношення швидкостей подачі першого і другого електродів в широкому діапазоні. За рахунок цього досягається контрольоване тепло-масоперенесення в зварювальну ванну. Відповідно, контрольоване оплавлення стрічкових електродів і розподіл теплової енергії в зварювальній ванні. Це дозволяє підвищити якість напавлених виробів за допомогою простого і надійного ресурсозберігаючого пристрою.

Дана конструкція дозволяє оптимізувати параметри імпульсного механічного перенесення і запобігти деформуванню стрічкових електродів, забезпечити почергове зворотно – поступовий рух торців стрічкових електродів з оптимальними частотою і амплітудою. Це забезпечує оптимальні розміри напавленого валику при можливості зменшення витрат электродного металу на втрати і перегрів, відповідно, енергії, що витрачається на плавлення і забезпечити ресурсозберігаючу технологію наплавлення.

Процес наплавлення двома стрічковими електродами, навіть при використанні флюсів, рекомендованих для зварювання, частково протікає як електрошлаковий, так як певна частка струму шунтування розплавлюється шлаком. Це сприяє зниженню глибини проплавлення і зменшення частки участі основного металу в напавленому. Дозволяє отримати напавлений метал необхідного хімічного складу вже в 1-м або 2-м шарі, на відміну від одноелектродного наплавлення, де необхідно наносити від 3-х до 5-и шарів.

Результати досліджень впливу частоти коливальних стрічкових електродів показали, що максимальне збільшення коефіцієнту розплавлення відбувається при використанні частоти коливальних в інтервалі 45–55 Гц незалежно від інших параметрів режиму

Ключові слова: стрічковий електрод, ресурсозберігаюча технологія, контрольоване тепло-масо перенесення

1. Введение

Процесс наплавки под флюсом двумя последовательно расположенными электродными лентами связан с повышенным тепловложением в основной ме-

талл, что приводит к увеличению объема сварочной и шлаковой ванн. При определенных условиях это способствует росту доли основного металла в наплавленном, и, тем самым, снижает уровень легирования наплавленного слоя. Регулирование мощности дуги за счет параметров режима наплавки оказывает влияние на устойчивость процесса наплавки за счет изменения соотношения масс расплавленного металла и шлака. Так, повышение напряжения при сохранении величины скорости наплавки интенсифицирует потоки металла и шлака вдоль фронта плавления, что приводит к образованию неравномерной поверхности наплавленного слоя, вплоть до протекания сварочной ванны сквозь шлаковую оболочку. Кроме того, возрастает расход флюса и увеличивается объем расплавленного шлака, что затрудняет его удержание. При росте тока возможно затекание шлака перед электродными лентами.

При наплавке двумя ленточными электродами важное значение имеет перенос электродного металла из двух источников, каждый из которых имеет независимые управляемые характеристики. Необходимо учитывать условия плавления и теплопередачи для каждого из электродов, они различаются в зависимости от их расположения в общей сварочной ванне. Второй электрод окружен большей массой расплавленного шлака и, кроме того, под ним расположен слой жидкого металла, созданный первым электродом. Актуальность работы в данном направлении заключается в управлении формированием сварочной ванны при необходимости учета воздействия на основной металл двух независимых источников тепла, причем условия теплопередачи основному металлу каждым из электродов не эквивалентны.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

При последовательном расположении двух ленточных электродов, при наплавке под флюсом с управляемым переносом электродного металла, второй электрод контактирует с жидкой прослойкой, образованной первым электродом, с одной стороны, и перегретым шлаком, образующимся в зазоре между электродами. Это влияет на распределение потоков жидкого металла в сварочной ванне, параметры зоны проплавления и формирование наплавленного валика. Перераспределяя токи в электродах, можно регулировать тепловое и газодинамическое воздействие каждой из дуг на расплавленный металл сварочной ванны, обеспечивая тем самым равномерное распределение его течения по всему фронту плавления. [1]. С целью снижения вероятности появления дефектов в виде шлаковых включений, подрезов по краям валика, неравномерности линии сплавления, необходимо изменение дополнительных технологических параметров. Это позволит более гибко управлять формообразованием сварочной ванны и влиять на служебные характеристики наплавленного слоя.

В работе [2] рассмотрены возможности повышения удельной мощности и снижения расхода электроэнергии нагрева при электрошлаковом нагреве, однако не указаны способы снижения глубины проплавления основного металла.

Представлен способ многоэлектродной наплавки [3], позволяющий повысить качество наплавленного слоя за счет перераспределения тепловой мощно-

сти с центра на края наплавленного валика. Однако описанное устройство не позволяет контролировать состав наплавленного шва.

Исследованы возможности управления глубиной проплавления и долей участия основного металла за счет изменения параметров режима при MIG и TIG-сварки проволочным электродом [4]. В случае использования ленточного электрода, такие возможности исследованы не были.

В работе [5] представлена математическая модель автоматического управления процессами дуговой наплавки с использованием электродных проволок. Представленные исследования позволяют спрогнозировать перемещение и распределение тепло-массопереноса с торца электрода, но только при использовании проволочного электрода, а не ленточного.

Механический принудительного перенос электродного металла позволяет не только управлять качеством и геометрическими параметрами сварных швов, но и существенно снижать энергозатраты на тепловложение в сварочную ванну. Использование управляемого механического переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом обеспечивает повышение эффективности плавления электродного металла и снижение энергоемкости процесса наплавки [6].

Исследование возможностей такого способа для наплавки двумя ленточными электродами [7, 8] показало перспективность этого метода. В то же время, условия плавления электродного металла и его переноса в сварочную ванну в случае использования двух и более электродов, отличны от способа наплавки одним электродом, особенно при различных значениях скорости подачи лент. Влияние этих параметров на перенос электродного металла в сварочную ванну до сих пор не изучено.

Известны исследования влияния температуры на увеличение вероятности коррозии и износа в сосудах высокого давления. Существует проблема с повышением качества нанесенных коррозионно и износостойких покрытий в промышленности. Экономические факторы, как правило, не позволяют изготовить узлы из твердого высоколегированного материала. Как следствие, возникает необходимость использования нелегированных или низколегированных базовых материалов с высоколегированной оболочкой. Предложено использование электрошлаковой сварки для нанесения покрытий на большие поверхности с использованием ленточных электродов. В результате непрерывно плавящийся электрод расплавляется и сливается с подложкой. Что приводит к значительному перегреву краев ленточных электродов [9]. Поэтому использование предложенного способа восстановления рабочих поверхностей не является рациональным.

В работе [10] предложен способ управления качеством и свойствами антикоррозионного слоя при электрошлаковой наплавке за счет использования устройства для магнитного перемешивания жидкого металла сварочной ванны. Использование подобного устройства предполагает дополнительные расходы электроэнергии на его функционирование.

Это обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований по разработке ресурсосберегающей технологии наплавки двумя ленточными

электродами, где за счет внесения дополнительного механизма, обеспечивается контролируемый перенос электродного металла. Это позволит повысить качество наплавленного слоя и снизить удельный расход электрической энергии на погонный метр наплавленного валика.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является определение влияния параметров режима наплавки на параметры проплавления основного металла и стабильности проплавления при использовании ресурсосберегающей технологии наплавки двумя ленточными электродами.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработать устройство для наплавки под флюсом двумя ленточными электродами с управляемым переносом электродного металла с торцов электродов;
- исследовать влияние технологических факторов на свойства антикоррозионного слоя, наплавленного двумя электродными лентами с управляемым механическим переносом электродного металла;
- выявить возможность увеличения коэффициента расплавления ленточных электродов при наплавке под флюсом с контролируемым тепло-массопереносом за счет варьирования частоты колебаний торцов ленточных электродов.

4. Разработка устройства для наплавки двумя ленточными электродами

Разработано устройство для наплавки двумя ленточными электродами с управляемым механическим переносом, позволяющее менять соотношение скоростей подачи первого и второго электрода в широком диапазоне. Устройство состоит из двух пар подающих роликов 3, 3', 4, 4' (рис. 1), установленных последовательно по ходу движения сварочной головки. Вращающий момент между парами роликов передается с помощью шестерен 5 и 6, передаточное соотношение которых определяет и соотношение скоростей подачи лент 1 и 2. Наложение возвратно-поступательного движения торцов на равномерное движение подачи электродов осуществляется за счет эксцентрика 7, расположенного между электродами на выходе из механизма подачи и периодически изгибающему ленту на угол α . При повороте эксцентрика на угол π ленточный электрод за счет упругости возвращается в исходное положение, а его торец осуществляет возвратное движение от сварочной ванны, что облегчает сброс капли в ванну. За счет этого достигается контролируемый тепло-массоперенос в сварочную ванну, соответственно, контролируемое оплавление ленточных электродов и распределение тепловой энергии в сварочной ванне, что позволяет повысить качество наплавленных изделий с помощью простого и надежного устройства.

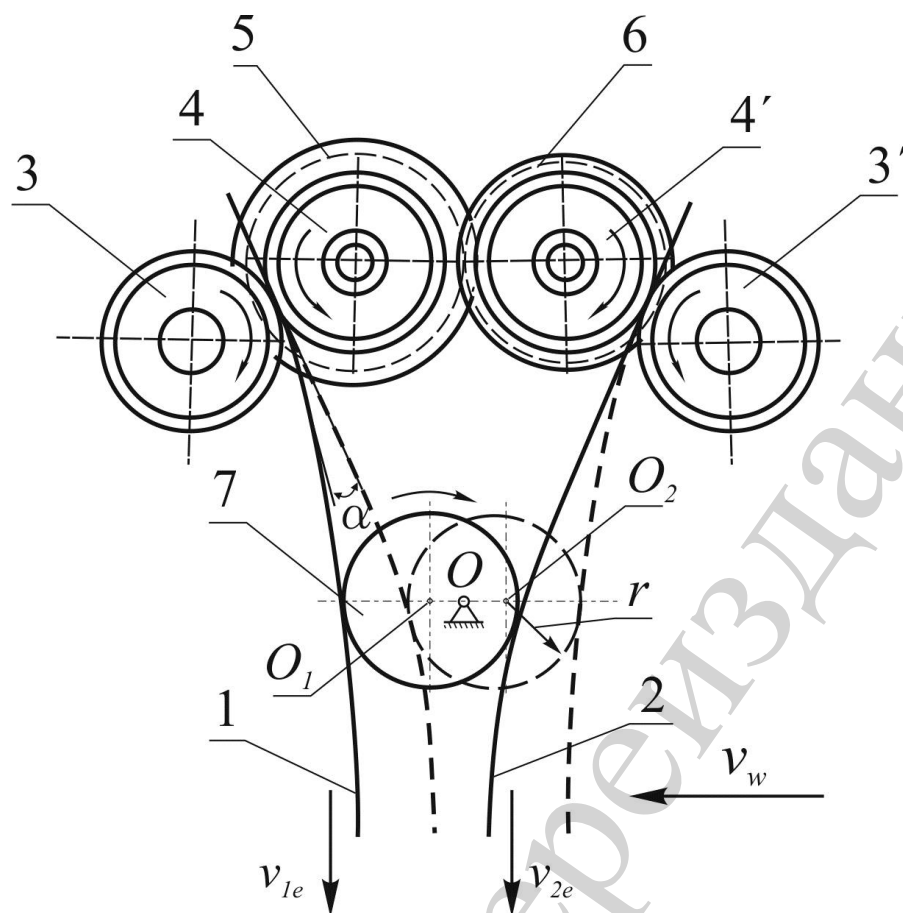


Рис. 1. Устройство для наплавки двумя ленточными электродами с контролируемым тепло – массо – переносом электродного металла:
1, 2 – ленточные электроды; 3, 3', 4, 4' – подающие, прижимные ролики;
5, 6 – шестерни, 7 – эксцентриковый механизм

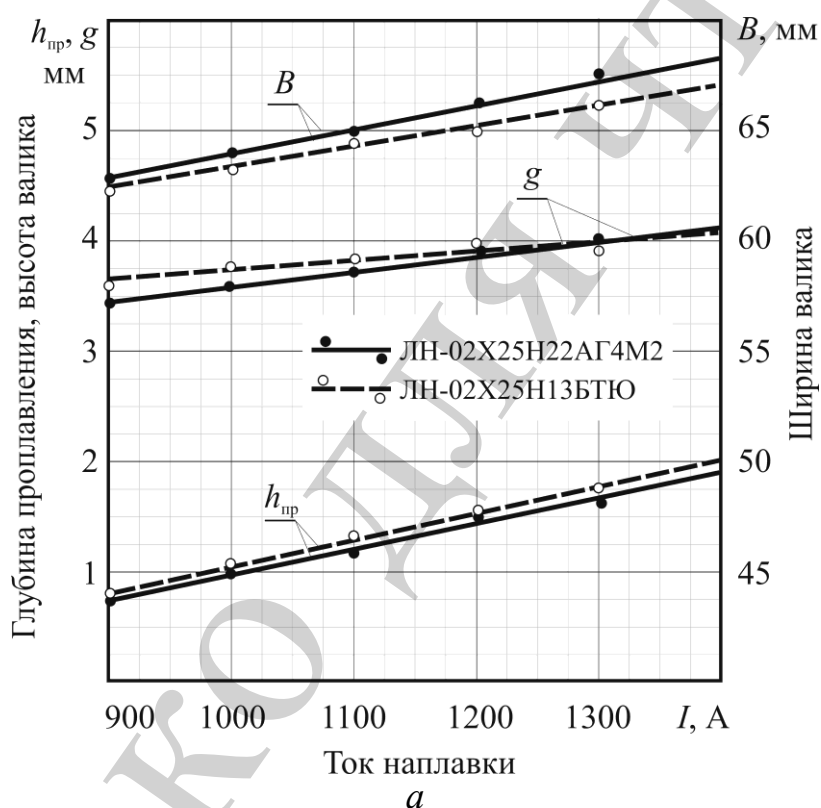
Данная конструкция позволяет оптимизировать параметры импульсного механического переноса и предотвратить деформирование ленточных электродов, обеспечить попеременное возвратно-поступательное движение торцов ленточных электродов с оптимальными частотой и амплитудой. Это обеспечивает оптимальные размеры наплавленного валика при возможности уменьшения расхода электродного металла на потери и перегрев, соответственно, расходуемой энергии на плавление, и обеспечить ресурсосберегающую технологию наплавки.

5. Исследование влияния технологических факторов на свойства антикоррозионного слоя

Наплавку осуществляли на пластины из стали Ст3 размерами 35×280×400 мм на постоянном токе обратной полярности лентами 60×0,5 мм марок ЛН-02Х25Н22АГ4М2 и ЛН-02Х25Н13БТЮ под флюсами ОФ-10 и АН-26П. Параметры режима наплавки варьировались в диапазоне: ток наплавки $I=900\div1400$ А, напряжение на дуге $U=28\div40$ В, скорость наплавки $v_w=5\div6.2\cdot10^{-3}$ м/с, зазор между электродами $\delta=10\div16$ мм, соотношение скоростей подачи первого и второго электрода, $k=v_1/v_2=0,42\div0,79$. Зазор между лентами обеспечивался толщиной

медного токоподвода. Используя накладки на токоподвод различной толщины, изменяли величину зазора в исследуемом интервале. Изменение скоростей подачи лент обеспечивалось сменными парами шестерен 5 и 6 (рис. 1) с соотношением зубьев в пределах изменения коэффициента k .

Исследования проводились на самоходной головке А–874Н с приставкой для наплавки под флюсом двумя ленточными электродами с управляемым переносом электродного металла. Частота колебаний ленточных электродов f изменялась за счет управления приводом вращения эксцентрикового механизма. В качестве источника сварочного тока использовали выпрямитель ВСЖ–1600. Вылет ленточных электродов составил 60 мм. В ходе экспериментов фиксировались геометрические размеры зон проплавления и наплавки, качество формирования наплавленного слоя, наличие несплавлений, подрезов и других дефектов формирования (рис. 2–4).



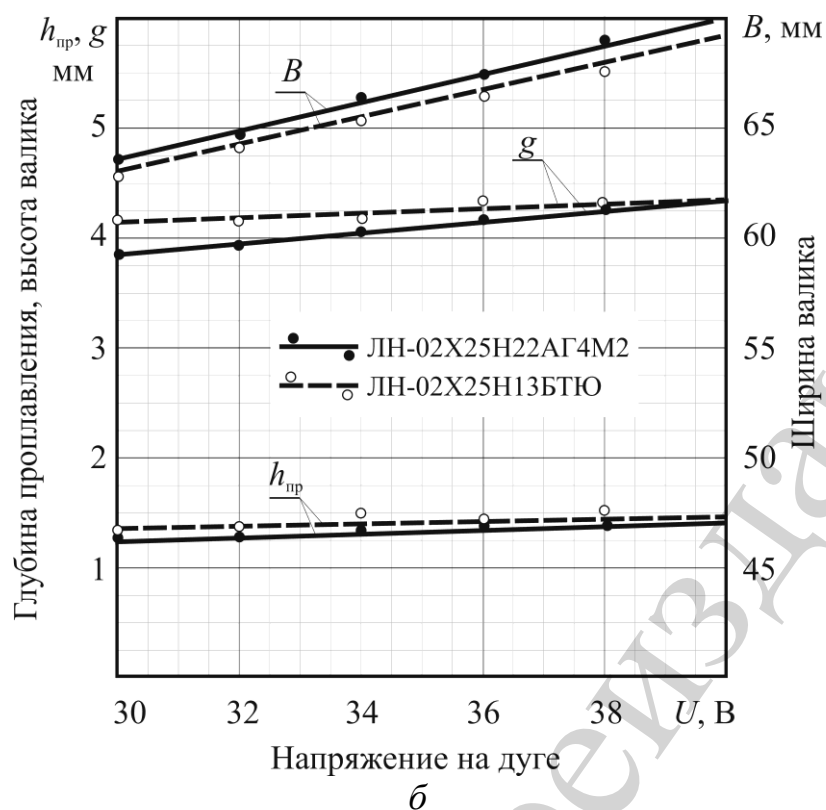


Рис. 2. Влияние тока наплавки и напряжения на дуге на геометрические размеры шва: a – ток наплавки I ; b – напряжение на дуге U ; $k=0,5$; $f=35$ Гц

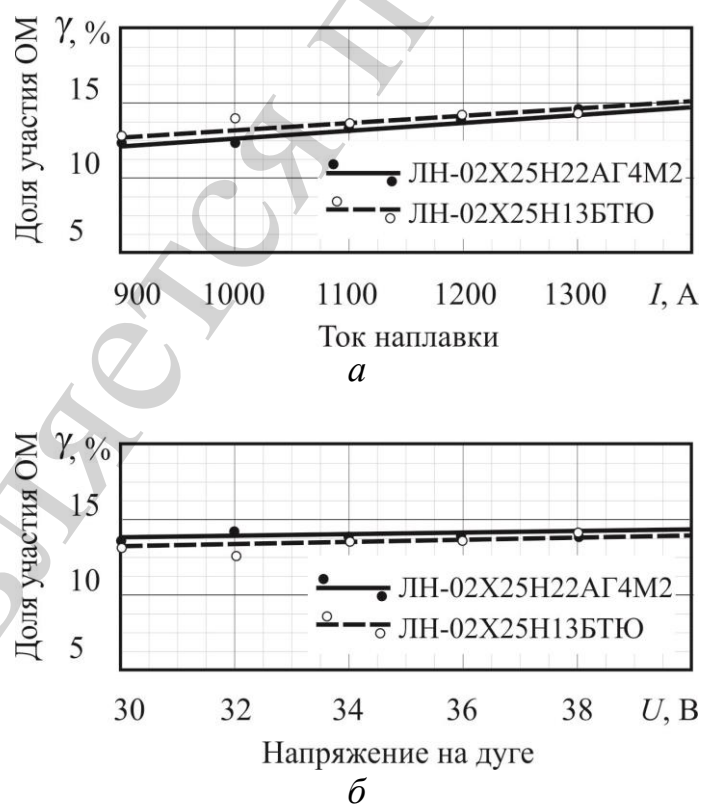


Рис. 3. Влияние тока наплавки и напряжения на дуге на долю основного металла в наплавленном: a – ток наплавки I ; b – напряжение на дуге U ; $k=0,5$; $f=35$ Гц

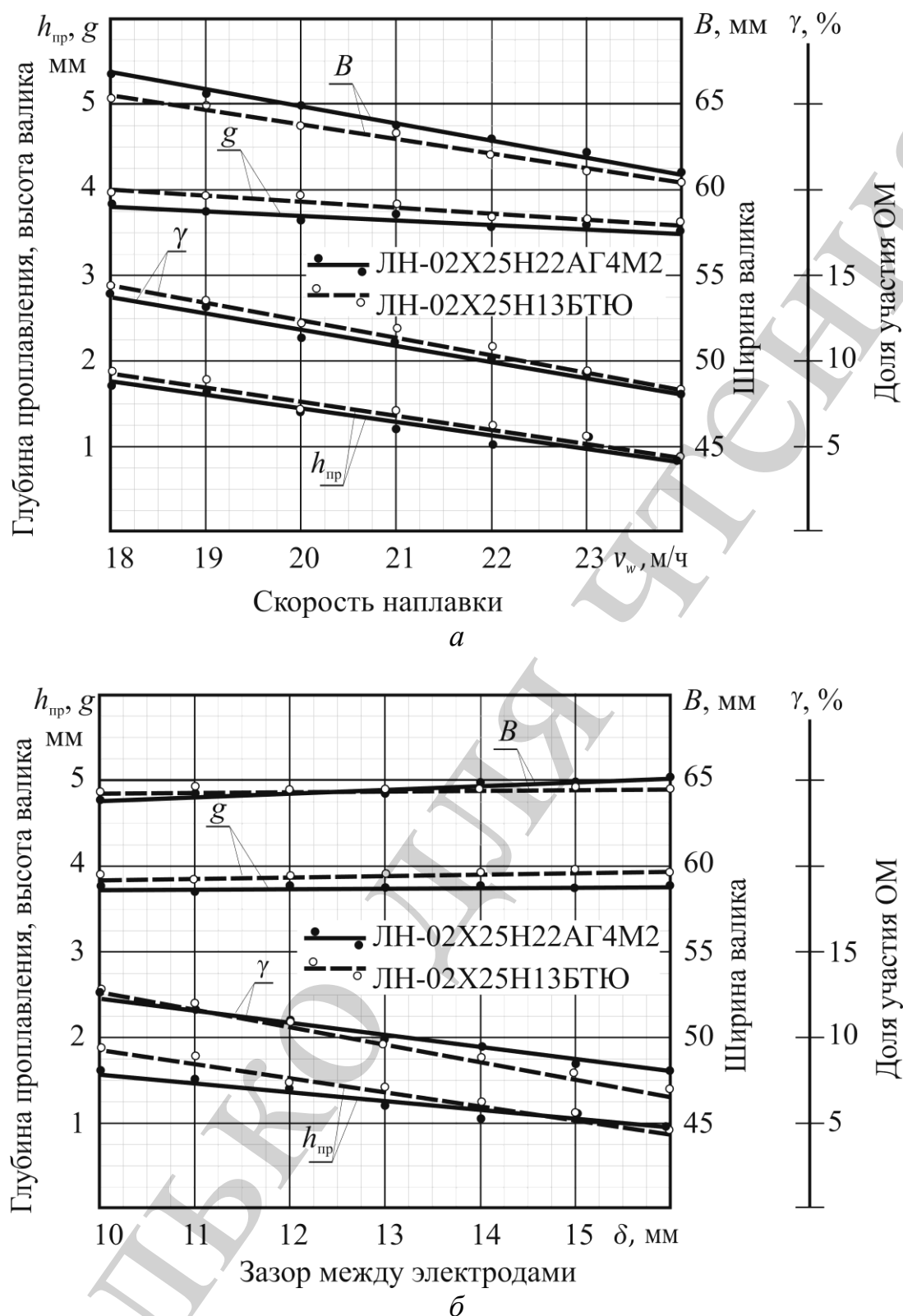


Рис. 4. Влияние основных параметров наплавки на геометрические параметры наплавленного шва: a – скорости наплавки v_w ; b – зазора между лентами δ ; $k=0,5$; $f=35$ Гц

Для определения зависимости параметров проплавления основного металла от соотношения скоростей подачи ленточных электродов проводили наплавку лентами ЛН-02Х25Н22АГ4М2 сечением $60 \times 0,5$ мм под флюсом ОФ–10 с па-

раметрами режима. Ток наплавки $I=1200$ А, напряжение на дуге $U=32$ В, скорость наплавки $v_w=5,6 \cdot 10^{-3}$ м/с, зазор между электродами $\delta=12$ мм. Соотношение скоростей подачи первого и второго электрода (при неизменной суммарной величине тока) изменяли с помощью сменных шестерен и устанавливали значения: $k=\{0,33; 0,40; 0,46; 0,5; 0,54; 0,6; 0,62; 0,66\}$. Результаты исследований представлены на рис. 5.

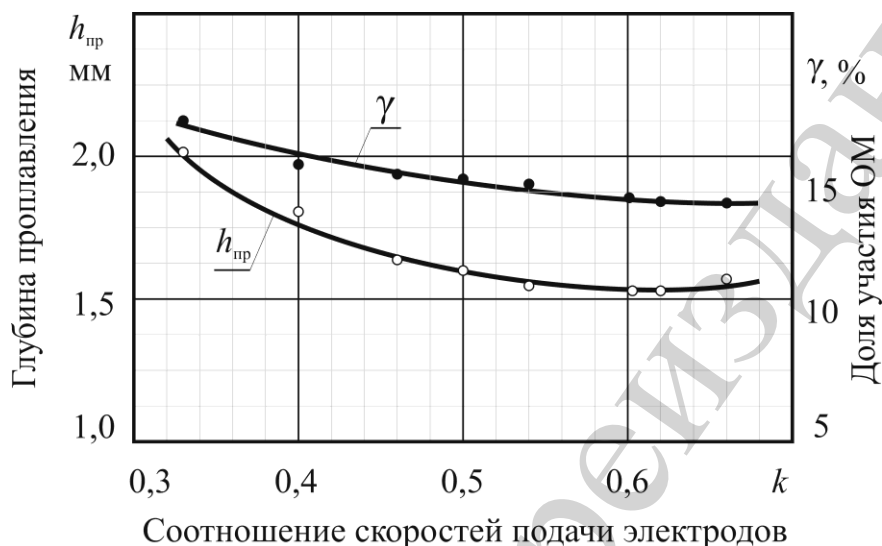


Рис. 5. Влияние коэффициента соотношения скоростей подачи электродов k на параметры проплавления основного металла

Дополнительные возможности по управлению глубиной проплавления создает использование управления переносом электродного металла. Управление обеспечивается регулированием частоты вращения эксцентрика, находящегося между лентами. Наложение колебаний на торцы лент, скорость их подачи и использование дополнительной инерционной силы для сброса капель в сварочную ванну уменьшает их перегрев. При этом величина инерционной силы зависит от нескольких параметров. Амплитуда колебаний торцов ленточных электродов связана с величиной эксцентриситета и расстоянием между ленточными электродами, а также массой капель электродного металла, величина которых определяется частотой вращения эксцентрика. Исследовался диапазон частот колебаний лент в диапазоне $f=30 \div 70$ Гц, определенный ранее как значимый для управления переносом электродного металла [6–8].

На рис. 6 представлены результаты исследования влияния параметров принудительного переноса на величину коэффициента расплавления при наплавке 2-мя лентами ЛН–02Х25Н22АГ4М2 сечением $60 \times 0,5$ мм под флюсом ОФ–10.

Процесс наплавки двумя ленточными электродами, даже при использовании флюсов, рекомендуемых для электродуговой сварки, частично протекает как электрошлаковый, так как определенная доля тока шунтируется расплавленным шлаком. Это способствует снижению глубины проплавления и уменьшению доли участия основного металла в наплавленном (рис. 3). Это позволяет получить наплавленный металл необходимого химического состава уже в 1-м

или 2-м слое, в отличие от одноэлектродной наплавки, где необходимо наносить от 3-х до 5-и слоев.

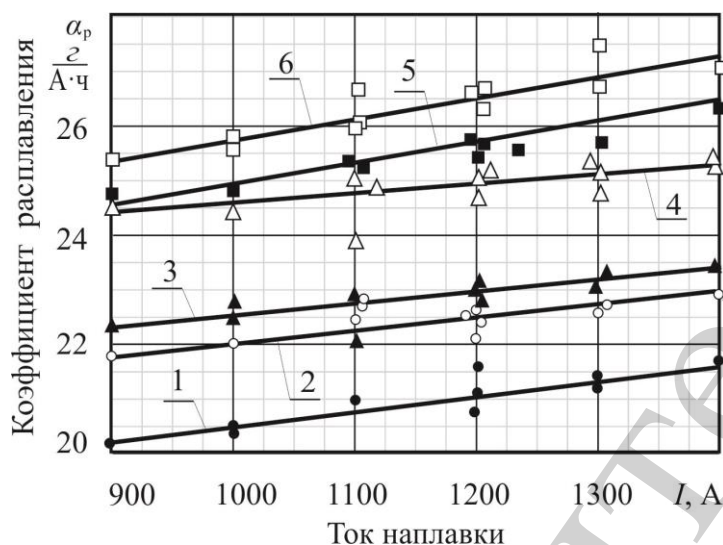


Рис. 6. Зависимость коэффициента расплавления от параметров режима наплавки: 1 — $f=0$ Гц; 2 — $f=30$ Гц; 3 — $f=40$ Гц; 4 — $f=70$ Гц; 5 — $f=60$ Гц; 6 — $f=50$ Гц

Для исследования химического состава наплавленного металла проводили двухслойную наплавку двумя лентами указанных выше марок сечением $60 \times 0,5$ мм. Параметры режима: ток $1150 \div 1200$ А (постоянный, полярность обратная), напряжение дуги $30 \div 32$ В, скорость наплавки $5,6 \cdot 10^{-3}$ м/с, расстояние между электродами 12 мм. Результаты послойного спектрального анализа наплавленного металла приведены в табл. 1. Следует отметить, что процесс наплавки в обоих случаях был преимущественно дуговым.

Таблица 1
Химический состав электрода и наплавленного металла

№	Марка/Вид	Флюс	Содержание химических элементов, масс. %						
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Прочие элементы	
1	ЛН-02Х25Н22АГ4М2		0,015	4,50	0,15	25,10	22,30	2,10 Мо	0,14 N
	1-й слой	ОФ-10	0,035	3,60	0,60	23,00	21,30	2,00	0,12
	2-й слой	ОФ-10	0,025	3,89	0,60	24,61	22,30	2,10	0,12
2	ЛН-02Х25Н13БТЮ		0,010	0,49	0,71	24,30	12,28	0,70 Nb	0,62 Al
	1-й слой	АН-26П	0,029	0,54	0,82	22,17	11,91	0,70	0,33
	2-й слой	АН-26П	0,022	0,54	0,77	23,90	12,00	0,70	0,55

Анализ послойного изменения содержания основных легирующих элементов, представленный в табл. 1, подтверждает возможность процесса наплавки двумя электродными лентами получать необходимые свойства наплавленного металла уже во втором слое.

6. Результаты исследования влияния основных параметров режима наплавки двумя ленточными электродами на формирование наплавленного валика

Установлено, что геометрические параметры зон проплавления и наплавки прямо пропорционально зависят от величин тока наплавки и напряжения на дуге (рис. 2). Увеличение размеров зоны проплавления приводит к соответственному изменению доли участия основного металла (ОМ) (рис. 3), хотя эта зависимость является менее выраженной. Повышение скорости наплавки приводит к более выраженному снижению глубины проплавления и доли участия, что можно объяснить увеличением расхода тепла дуги на плавление флюса (рис. 4).

Это объясняется тем, что определяющее значение для параметров зоны проплавления в большинстве случаев имеет первый ленточный электрод. Дуга второго электрода не воздействует напрямую на основной металл, а только через жидкую прослойку, наведенную взаимодействием дуги первого электрода, поэтому увеличение мощности дуги второго электрода при увеличении скорости подачи влияет, в основном, на тепловложение в сварочную ванну и площадь зоны наплавки.

Изменения значения коэффициента соотношения скоростей подачи меняет влияние каждого из электродов на формирование зоны проплавления, гидродинамическую обстановку в сварочной ванне и, соответственно, формирование наплавленного валика. Увеличение скорости подачи первого электрода приводит к увеличению глубины проплавления и доли участия ОМ, в то же время рост жидкой прослойки под вторым электродом снижает его проплавляющую способность, особенно на краях ванны. Поскольку центр ванны значительно перегрет, увеличение глубины проплавления происходит в основном по центру шва, в зоне активного течения жидкого металла. Это приводит к неравномерному формированию линии сплавления, с возможностью образования шлаковых включений и наплывов в зонах замедленного движения жидкого металла. В этом случае высота усиления может быть неравномерной по длине шва, содержать утолщения и впадины на поверхности наплавленного валика.

При увеличении коэффициента соотношения скоростей k возрастает роль второго электрода в формообразовании сварочной ванны и стабилизации потоков жидкого металла по ее объему (рис. 5). Это способствует выравниванию линии сплавления, увеличению угла перехода от основного металла к наплавленному ($140\div 150^\circ$) за счет увеличения ширины валика и снижения глубины проплавления, а также способствует более качественному формированию наплавленного металла. Приведенные на (рис. 6, 7) фото торцов лент после наплавки и макрошлифов линии сплавления позволяют сделать вывод о более равномерном распределении тепла в сварочной ванне и по ширине ленточного электрода.

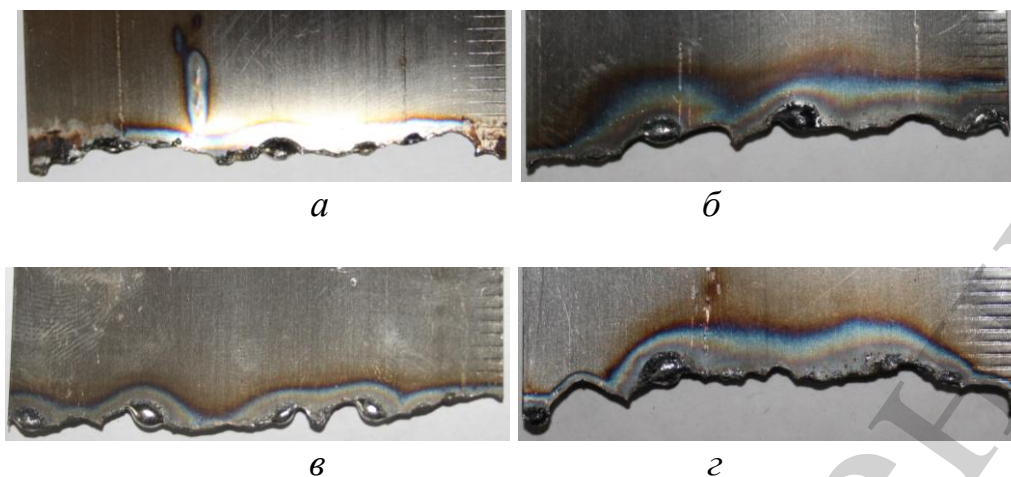


Рис. 6. Вид ленточных электродов после наплавки при значении $k=0,62$ ($a, в$) и $k=0,5$ ($б, г$): $a, б$ – 1-й электрод; $в, г$ – 2-ой электрод

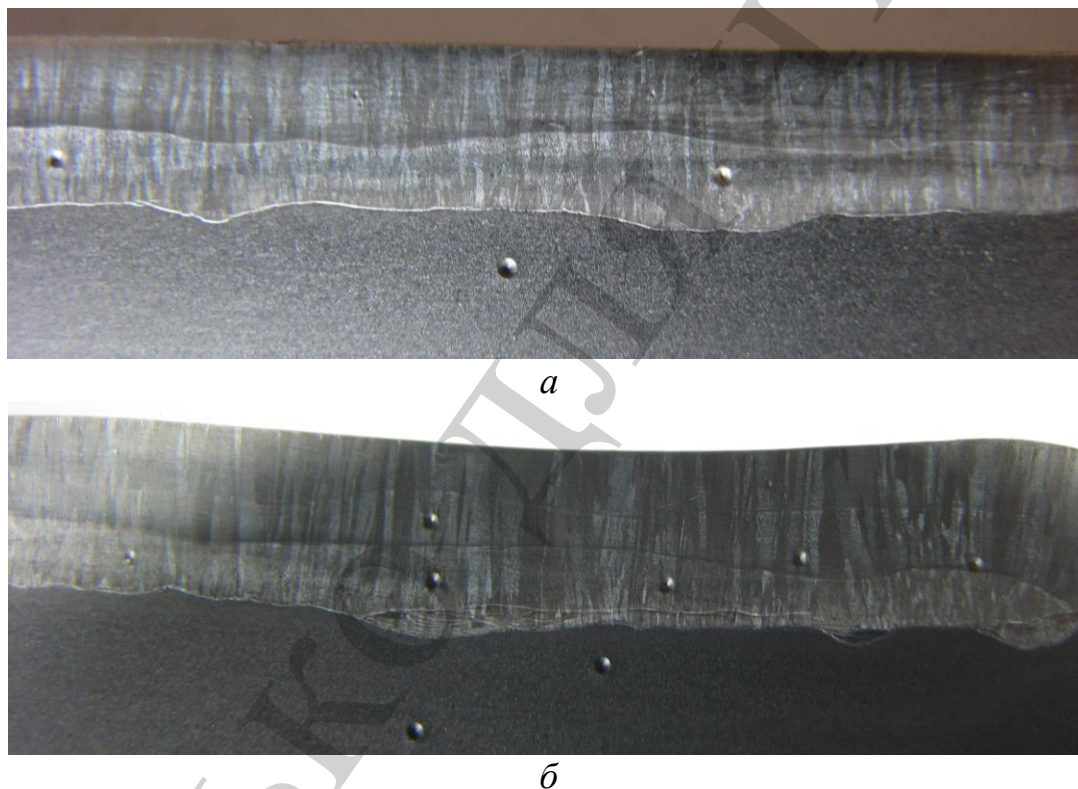


Рис. 7. Макроструктура линии сплавления наплавленных валиков, $\times 4$:
 $a - k=0,62$; $б - k=0,5$

Дальнейший рост скорости подачи второго электрода при уменьшении скорости подачи первого ($k \geq 0,7$) приводит повторному росту глубины проплавления и доли участия ОМ за счет уменьшения жидкой прослойки под вторым электродом.

7. Обсуждение результатов исследований наплавки двумя ленточными электродами с управляемым переносом

Разработанное устройство позволяет за счет изменения соотношения скоростей подачи первого и второго электрода достигнуть контролируемый тепло-массоперенос в сварочную ванну. Это приводит к контролируемому: оплавлению ленточных электродов и распределению тепловой энергии в сварочной ванне. В результате повышается качество наплавленных изделий с помощью простого и надежного ресурсосберегающего устройства.

Результаты исследований влияния частоты колебаний ленточных электродов показали, что максимальное увеличение коэффициента расплавления происходит при использовании частоты колебаний в интервале 45–55 Гц вне зависимости от остальных параметров режима (рис. 8). Это приводит к повышению эффективности расплавления ленточных электродов в пределах 20–25 %. При известных способах наплавки для подобного роста необходимо использовать либо специальные технологические приемы: использование присадочного материала, флюсовых добавок, либо за счет повышения мощности дуги. Указанные способы являются энерго- неэффективными и затратными. Поэтому применение способа наплавки двумя ленточными электродами с контролируемым тепло- массопереносом является эффективным.

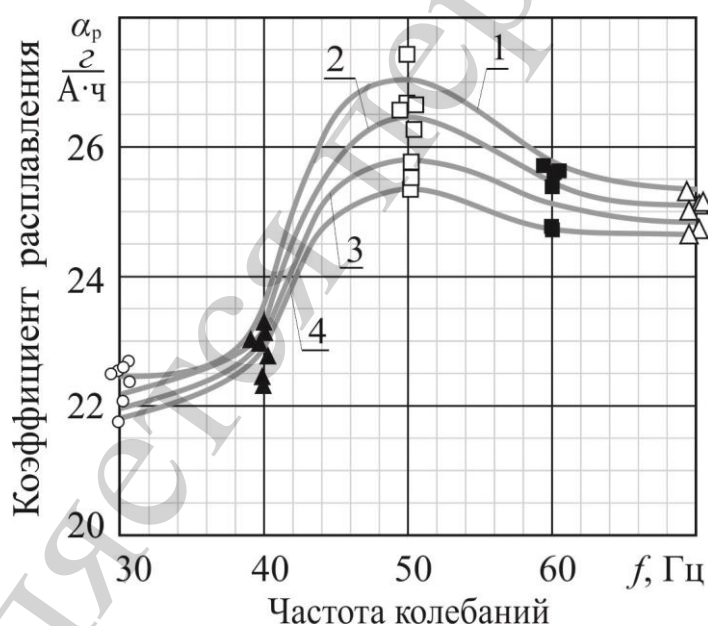


Рис. 8. Влияние частоты колебаний на коэффициент расплавления:
1 — $I=1300$ А, $U=34$ В; 2 — $I=1200$ А, $U=32$ В; 3 — $I=1000$ А, $U=30$ В;
4 — $I=900$ А, $U=28$ В

Так, при значениях параметров режима $I=1300$ А, $U=24$ В и $f=50$ Гц коэффициент расплавления достигает значений, характерных для электрошлаковой наплавки ($26,7 \div 27,5$ г/А·ч). Данное обстоятельство можно объяснить более равномерным распределением тепловой энергии по ширине ленточного электрода и зеркалу сварочной ванны при снижении ее средней температуры,

меньшими значениями перегрева капель и потерь энергии на сброс капель в кратер.

Следует отметить, что определенную роль в этом также играет довольно высокое значение напряжения дуги, поскольку при таких значениях растут количество расплавляемого флюса и объем шлаковой ванны, что приводит к соответствующему росту тока шунтирования. Следствием данного явления является увеличение доли электрошлакового процесса и интенсификация нагрева расплавленным шлаком на «мокром» вылете электродов.

Предложенный способ наплавки двумя ленточными электродами рекомендован при использовании ленточных электродов шириной от 40 мм до 100 мм и толщин от 0,5 мм до 1,0 мм как для коррозионно-стойких сталей, так и для малоуглеродистых сталей.

К недостаткам предлагаемого способа наплавки можно отнести возможность применения данного устройства только для ограниченного диапазона используемых толщин.

Поэтому является целесообразным продолжить исследования по применению толщин ленточных электродов более 1,0 мм при восстановлении изделий больших толщин. Указанную технологическую задачу можно решить, применив контролируемый тепло- массоперенос без изгиба ленточного электрода. Таким образом, в дальнейшем потребуются совершенствование конструкции устройства.

8. Выводы

1. Разработано устройство для наплавки двумя ленточными электродами с управляемым механическим переносом, позволяющее менять соотношение скоростей подачи первого и второго электрода в широком диапазоне. За счет этого достигается контролируемый тепло- массоперенос в сварочную ванну. Соответственно, контролируемое оплавление ленточных электродов и распределение тепловой энергии в сварочной ванне, что позволяет повысить качество наплавленных изделий с помощью простого и надежного ресурсосберегающего устройства. Данная конструкция позволяет оптимизировать параметры импульсного механического переноса и предотвратить деформирование ленточных электродов, обеспечить попеременное возвратно-поступательное движение торцов ленточных электродов с оптимальными частотой и амплитудой. Это обеспечивает оптимальные размеры наплавленного валика при возможности уменьшения расхода электродного металла на потери и перегрев, соответственно, расходуемой энергии на плавление и обеспечить ресурсосберегающую технологию наплавки.

2. Процесс наплавки двумя ленточными электродами, даже при использовании флюсов, рекомендуемых для электродуговой сварки, частично протекает как электрошлаковый, так как определенная доля тока шунтируется расплавленным шлаком. Это способствует снижению глубины проплавления и уменьшению доли участия основного металла в наплавленном, что позволяет получить наплавленный металл необходимого химического состава уже в 1-м или 2-

м слое, в отличие от одноэлектродной наплавки, где необходимо наносить от 3-х до 5-и слоев.

3. Результаты исследований влияния частоты колебаний ленточных электродов показали, что максимальное увеличение коэффициента расплавления происходит при использовании частоты колебаний в интервале 45–55 Гц вне зависимости от остальных параметров режима.

Литература

1. Лещинский Л. К., Лаврик В. П., Касаткин О. Г. Влияние технологических факторов на качество антикоррозионного слоя, наплавленного двумя электродными лентами // Автоматическая сварка. 1986. № 8. С. 49–53.
2. Kuzmenko O. G. Peculiarities of heating of stamped billets in non-consumable electrode electroslag surfacing // The Paton Welding Journal. 2015. Vol. 2015, Issue 6. P. 34–36. doi: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.06.07>
3. Matvienko V. N., Mazur V. A., Leshchinsky L. K. Evaluation of shape and sizes of weld pool in surfacing using combined strip electrode // The Paton Welding Journal. 2015. Vol. 2015, Issue 9. P. 28–31. doi: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.09.04>
4. CRA Weld Overlay – Influence of welding process and parameters on dilution and corrosion resistance / Kumar V., Lee C., Verhaeghe G., Raghunathan S. Houston: Stainless Steel World America, Texas, 2010. P. 64–71.
5. Computer system for automatic control of arc surfacing processes using electrode wires / Ryabtsev I. A., Soloviov V. G., Lankin Y. N., Babinets A. A. // The Paton Welding Journal. 2017. Vol. 2017, Issue 6. P. 34–36. doi: <https://doi.org/10.15407/tpwj2017.06.07>
6. Ivanov V., Lavrova E. Improving the Efficiency of Strip Cladding by the Control of Electrode Metal Transfer // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 682. P. 266–269. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.682.266>
7. Ivanov V., Lavrova E. Development of the Device for Two-Strip Cladding with Controlled Mechanical Transfer // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1059. P. 012020. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1059/1/012020>
8. Иванов В. П., Лаврова О. В. Пристрій для наплавлення двома стрічковими електродами: Пат. № 113454. № u201608212; заявл. 25.07.2016; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.
9. Thakare N., Niraj S., Ram Yada V. Electro Slag Strip Cladding Process // International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). 2014. Vol. 4, Issue 7. P. 60–64.
10. Dave S. N., Narkhede B. E. Study of the electro slag strip cladding process & effect of its parameters on welding // International Journal of Advance Engineering and Research Development. 2016. Vol. 3, Issue 12. P. 101–108. doi: <https://doi.org/10.21090/ijaerd.031220>